

Unjuk Kerja Generator Radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dengan Radioaktivitas ^{99}Mo 600 dan 800 mCi Berbasis PZC

Kadarisman¹, Adang HG.¹, Hotman Lubis¹

¹Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka, BATAN

Kawasan Puspiptek Gedung 10, Tangerang Selatan, Banten

E-mail : kadarisman_w@yahoo.com, No.HP : 08159969519

Abstrak

Radioisotop $^{99\text{m}}\text{Tc}$ mempunyai umur paro pendek (6 jam), pemancar sinar gamma mono-energi (140 KeV), mudah membentuk senyawa kompleks dengan berbagai kit, dan tidak memancarkan partikel beta. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ merupakan radionuklida paling ideal untuk diagnosis dibidang kesehatan dibandingkan dengan radionuklida lainnya. Lebih dari 80% diagnosis yang menggunakan radioisotop di seluruh dunia dan ada sekitar 9 juta prosedur untuk diagnosis. Beberapa jenis generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ telah dikembangkan dan dikomersialkan, sistem ekstraksi menggunakan Metil Etil Keton (MEK), produk $^{99\text{m}}\text{Tc}$ terkontaminasi MEK, sistem kromatografi alumina, kapasitas serap alumina untuk ^{99}Mo kecil, harus menggunakan ^{99}Mo fisi, sistem gel Zr-Mo atau Ti-Mo tidak reproduktibel, yang terakhir adalah sistem Polymer Zirconium Compound (PZC). PZC berkapasitas serap tinggi untuk ^{99}Mo , dapat menggunakan ^{99}Mo hasil reaksi (n, γ) yang lebih murah dan hasil radionuklida $^{99\text{m}}\text{Tc}$ lebih terjangkau, teknologi tidak rumit dan proses relatif sederhana. Akhir-akhir ini, sistem generator $^{99\text{m}}\text{Tc}$ berbasis PZC telah dipelajari secara mendalam, mengenai profil elusi $^{99\text{m}}\text{Tc}$ menggunakan salin, kapasitas serap PZC terhadap ^{99}Mo , kemurnian radionuklida $^{99\text{m}}\text{Tc}$, kestabilan PZC. Namun perkembangan pengembangan itu baru menggunakan tingkat radioaktivitas ^{99}Mo relatif rendah (maksimum 272 mCi), sedangkan dalam generator $^{99\text{m}}\text{Tc}$ minimal harus berisi 300 mCi s/d 1000 mCi ^{99}Mo . Dalam penelitian ini telah dilakukan pembuatan kolom Mo-PZC dengan tingkat radioaktivitas tinggi (600 dan 800 mCi) dengan menggunakan PZC sebanyak 5,86 dan 4,42 gram. Dalam eksperimen ini diperoleh radioaktivitas $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 243,86 dan 308,59 mCi dengan kemurnian radionuklida masing-masing sebesar $1,87 \times 10^{-2}$ dan $1,32 \times 10^{-2} \mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$. Matriks ^{99}Mo -PZC mempunyai ukuran partikel lebih kecil, yaitu berkisar antara 0,456 s/d 0,583 μm , yield $^{99\text{m}}\text{Tc}$ masing-masing adalah 110,8% dan 55,9%.
Kata kunci : Generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$, radioisotop ^{99}Mo , PZC, lolosan ^{99}Mo

Abstract

Radioisotope of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ has half life 6 hours, emit mono-energetic gamma ray (140 KeV), easily form complex compound with various kit, and does not emit beta particle. The $^{99\text{m}}\text{Tc}$ represent ideal radionuclide for diagnosis in health field compared to other radionuclides. More than 80% of the diagnosis in nuclear medicine uses the radionuclide and there are about 9 million procedures for diagnosis all over the world. Some types of generator of $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ have been developed and commercially used. In the extraction system using Methyl Ethyl Keton (MEK), the produced $^{99\text{m}}\text{Tc}$ was contaminated MEK, while in chromatography using alumina, the absorbent capacities of alumina for ^{99}Mo is small, and can be used for ^{99}Mo fission product only. Generators using gel of Zr-Mo or Ti-Mo are not reproducible. The generator system developed recently was generator using Polymer Zirconium Compound (PZC) as the adsorbent. PZC have absorption capacities for ^{99}Mo , and can be used for ^{99}Mo from (n, γ) reaction. The cost of the generator is relatively low, the technology is not complicated and the process is relatively simple. Generator system of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ based on PZC have been studied intensively including elution profile of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ using saline solution, absorption capacity of PZC for ^{99}Mo , radionuclide impurities in $^{99\text{m}}\text{Tc}$ and stability of PZC. However, the radioactivity of ^{99}Mo used is still relatively low (maximum 272 mCi), while in $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator, the radioactivity of ^{99}Mo is in the range of 300 mCi to 1000 mCi ^{99}Mo . In this research, the experiment of generators with high radioactivity of ^{99}Mo (600 up to 800 mCi) was carried out. In this experiment, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ with radioactivity of 243.86 mCi and 308.59 mCi was obtained. The impurity of ^{99}Mo break through were 1.87×10^{-2} and $1.32 \times 10^{-2} \mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$. The matrix of ^{99}Mo -PZC have small size, in the range of 0.456 to 0.583 μm , yield of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ are 110.8 % and 55.6 % respectively.

Key word : $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ isotope generator, ^{99}Mo isotope, PZC, ^{99}Mo break through.

Pendahuluan

Sebagian besar pasokan generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ di seluruh dunia akhir-akhir ini disediakan sebagai generator kromatografi menggunakan kolom alumina yang diisi dengan ^{99}Mo radioaktivitas jenis tinggi dalam bentuk Molibdat. Saat ini, sumber ^{99}Mo radioaktivitas jenis tinggi dari reaktor riset dengan menggunakan reaksi fisi nuklir dengan uranium pengayaan tinggi ($\text{U-235} > 93\%$), (High Enriched Uranium = HEU) yang mahal, membutuhkan teknologi yang amat rumit dan persyaratan infrastruktur yang hanya mungkin dipertahankan oleh negara-negara yang mempunyai teknologi nuklir canggih. Dan lagi, ada pembatasan penggunaan HEU dalam masa datang, yang disebabkan tragedi 11 September di New York AS dan gerakan NPT Internasional yang dipimpin AS. [2,3, 7, 9] Karena itu, pengembangan ^{99}Mo radioaktivitas jenis rendah yang diproduksi dengan menggunakan reaksi inti (n,γ) untuk digunakan dalam generator $^{99\text{m}}\text{Tc}$ terus meningkat. Pada awalnya sistem gel Zirkonium atau Titanium Molibdat (Zr-Mo atau Ti-Mo) mendorong beberapa negara untuk mempertimbangkannya sebagai salah satu alternatif generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$, tetapi ternyata malah membutuhkan proses yang lebih kompleks. [5, 6]

Akhir-akhir ini, PZC yang dikembangkan oleh KAKEN Co. dan JAERI Jepang telah menunjukkan bahwa bahan itu memberikan harapan sebagai adsorben/penyerap untuk generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang diisi dengan Molibdenum alam teriradiasi karena kapasitas adsorpsinya terhadap molibdat 100 kali lebih besar dari pada alumina. [8] Beberapa pekerjaan menerangkan penggunaan bahan PZC dalam generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}(n,\gamma)$ telah dilaporkan. Akhir-akhir ini telah dilaporkan bahwa, efek penggunaan beberapa agen pengoksidasi dalam perlakuan pencucian dan tambahan agen pengoksidasi (NaOCl) di dalam larutan salin sebagai eluen telah meningkatkan yield $^{99\text{m}}\text{Tc}$. [1, 4, 9] Dalam paper ini akan dilakukan preparasi kolom ^{99}Mo -PZC yang dicuci menggunakan NaOCl dan digabungkan dengan kolom II dari alumina. Dalam proses pengisian radionuklida ke dalam matriks PZC akan diamati efisiensi serapan PZC terhadap ^{99}Mo , dan dalam proses elusi akan diamati profil elusi $^{99\text{m}}\text{Tc}$, lolosan ^{99}Mo dan kemurnian radionuklida $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dengan memvariasi tingkat radioaktivitas ^{99}Mo yang diisikan, dimensi kolom, dan analisis kestabilan PZC dan/atau ^{99}Mo -PZC.

Metodologi

Bahan dan Peralatan

Bahan kimia yang digunakan adalah Poly Zirkonium Compound (PZC) dari Kaken Co. Jepang dengan berbagai perlakuan, Molibdenum tri oksida (MoO_3) alam dari Fluka, larutan salin (NaCl 0,9%) dan akuabides dari IPHA, serbuk alumina aktif untuk kolom kromatografi, sedangkan NaOH pelet, HCl pekat dan NaOCl dari Merck. Bahan penunjang yang digunakan antara lain; penyaring Millex-FG 22 μm dari Millipore, Carrigtwooll Co., Jarum Suntik (Syringe) 5 dan 10 ml dari Terumo Philippines, Gelas filter dari Fisher Scientific, Kertas pH universal dengan pH dari 1 s/d 14 dari Merck. Kolom gelas PZC yang dilengkapi dengan fritz ($p = 10\text{ cm}$ dan $\phi = 1,5\text{ cm}$) dan kolom gelas untuk alumina aktif ($p = 5\text{ cm}$ dan $\phi = 1,5\text{ cm}$) yang dirancang sendiri dan dipabrikan oleh PT Gaya Logam, Bandung.

Pemeriksaan konsentrasi radioaktivitas, lolosan ^{99}Mo dan kemurnian radionuklida dilakukan dengan menggunakan Dose Calibrator ($\text{ATOMLAB}^{\text{TM}}$ 100 *plus*) dan seperangkat spektrometer sinar gamma (γ) yang dilengkapi dengan analisator saluran ganda model Canberra 1000 dan detektor Germanium kemurnian tinggi (HP-Ge) dari Canberra Industries Inc., serta perangkat lunak MCA Gennie 2000 VDM. Perangkat spektrometer gamma dikalibrasi menggunakan sumber standar pemancar gamma campuran Cs-137 (661,64 KeV), Co-60 (1173,23 KeV dan 1332,51 KeV) dan Ba-133 (302,85 KeV dan 356,01 KeV) dari Du Pont. Pipet Eppendorf dengan kapasitas 5 μL digunakan untuk pengambilan cuplikan yang akan diperiksa dengan spektrometer gamma.

Iradiasi sasaran MoO_3 alam

Sebanyak 1,5 s/d 3,5 gram MoO_3 alam dimasukkan ke dalam ampul quartz, selanjutnya ampul quartz dilas, kemudian dimasukkan ke dalam tabung aluminium inner dan outer, di las kedap udara dan dimasukkan ke reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy untuk diiradiasi.

Pelarutan MoO_3 teriradiasi

Tabung *quartz* yang berisi target MoO_3 teriradiasi dipindahkan ke dalam bejana gelas baru, Tabung quartz dipotong bagian atasnya menggunakan "pisau pemotong (tong)". Target MoO_3 alam teriradiasi dimasukkan ke dalam bejana gelas yang bersih. Sebanyak 45 s/d 50 ml NaOH 6M ditambahkan ke dalam bejana yang berisi MoO_3 teriradiasi, selanjutnya dipanaskan di atas hot plate dan diaduk sampai larut sempurna. Setelah larut sempurna pH larutan MoO_3 teriradiasi diatur sampai menjadi pH 7 menggunakan HCl 1M dan diencerkan menggunakan akuabides sampai volumenya menjadi 80 s/d 100 ml (larutan stok ^{99}Mo). Dicuplik sebanyak 10 ml larutan stok Mo-99 dimasukkan di dalam wadah aluminium dan dicacah radioaktivitasnya dengan menggunakan Dose

Calibrator, catat radioaktivitas ^{99}Mo , jam dan tanggal pencacahan.

Preparasi kolom alumina

Sebanyak 3 gram serbuk alumina aktif dimasukkan ke dalam bejana gelas 25 ml, ditambahkan 10 ml salin kemudian diaduk beberapa saat. Alumina yang telah dicuci itu dimasukkan ke dalam kolom gelas dan siap digunakan untuk elusi $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Preparasi kolom PZC

Sebanyak volume tertentu (18,5 s/d 60 ml) larutan molibdenum teriradiasi dengan radioaktivitas 600 s/d 1300 mCi (berat Mo terhitung = 1,41 s/d 1,59 gram) dimasukkan ke dalam erlenmeyer 50 atau 100 ml tertutup. Ke dalam erlenmeyer yang berisi larutan stok ^{99}Mo dimasukkan sejumlah tertentu (4,23 s/d 4,70 gram) PZC (ingat kapasitas serap PZC terhadap molibdenum kira-kira 272 mg/g). Campuran digoyang-goyang sampai serbuk PZC terendam semua ke dalam larutan stok ^{99}Mo . Erlenmeyer yang berisi campuran Mo-PZC dimasukkan ke dalam penangas-air pada suhu 90°C selama 3 jam. Digoyang beberapa saat dalam antara waktu 15 menit. Didiamkan beberapa saat sampai padatan dan cairan terpisah sempurna. Setelah selesai proses pencampuran, campuran Mo-PZC didekantasi dan supernatan ^{99}Mo ditampung dalam botol polietilen 100 ml. Pasta Mo-PZC di dalam erlenmeyer dicuci dengan 40 ml akuabides steril, diamkan hingga padatan halus terpisah dengan larutannya, campuran didekantasi lagi dan supernatan ^{99}Mo dimasukkan ke dalam botol polietilen 100 ml di atas.

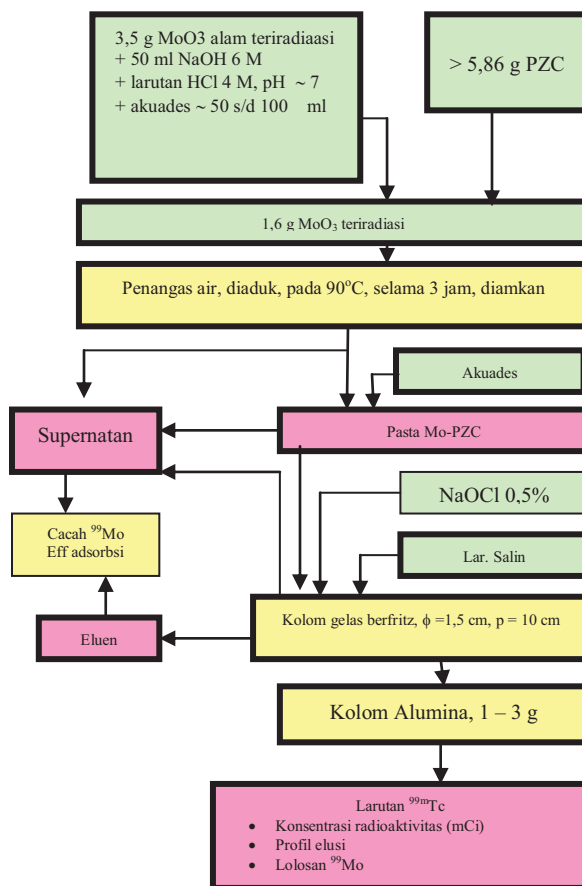
Dicuplik supernatan ^{99}Mo sebanyak volume tertentu (1, 5 atau 10 ml) dimasukan ke dalam vial 10 ml. Cacah radioaktivitas ^{99}Mo dengan Dose Calibrator. Catat radioaktivitas ^{99}Mo (mCi), tanggal dan jam pencacahan. Pasta Mo-PZC dimasukkan ke dalam kolom gelas yang berfritz di bagian bawahnya, di atas fritz diletakkan penyaring gelas dengan pori-pori $22\ \mu\text{m}$ dan bagian atas ditutup dengan glass wool secukupnya.

Kolom gelas ditutup dengan septa karet dan selanjutnya dielusi menggunakan 5 ml larutan NaOCl 0,5%. Eluat ditampung di dalam vial vakum 10 ml. Eluat itu dicacah menggunakan Dose Calibrator. Catat radioaktivitas ^{99}Mo , hari, tanggal dan jam pencacahan. Kolom gelas yang berisi Mo-PZC dielusi menggunakan 10 ml larutan salin. Eluat ditampung di dalam vial vakum 10 ml. Eluat itu dicacah dengan Dose Calibrator. Catat radioaktivitas ^{99}Mo , hari, tanggal dan jam pencacahan. Kolom gelas yang berisi pasta Mo-PZC dihubungkan dengan kolom alumina (berisi

serbuk alumina aktif kira-kira 3 gram). Diamkan selama kira-kira 24 jam.

Elusi radioisotop $^{99\text{m}}\text{Tc}$

Elusi radionuklida $^{99\text{m}}\text{Tc}$ di dalam kolom dengan cara menghubungkan kolom yang berisi Mo-PZC dengan vial yang berisi sebanyak 10 ml larutan salin. Tampung eluat masing-masing sebanyak 1 ml ke dalam vial 3 ml (ada 10 Vial, Vial 1 s/d 10) hingga 10 buah vial. Eluat dalam vial 1 s/d 10 masing-masing dicacah dengan Dose Calibrator. Catat radioaktivitas $^{99\text{m}}\text{Tc}$, hari, tanggal dan jam pencacahan. Eluat yang ada di dalam vial 1 s/d 10 digabungkan ke dalam vial 10 ml. Masukkan di dalam kontainer yang telah disediakan dan dicacah dengan spektrometer gamma (dilakukan 3 kali ulangan). Cetak spektrum energi gamma dan catat luas puncak, jam, tanggal, bulan, tahun dan lama pencacahan. Hitung konsentrasi radioaktivitas $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (mCi), Yield $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (%) dan lolosan ^{99}Mo dalam $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ($\mu\text{Ci}/\text{mCi}$). Untuk lebih jelasnya metoda percobaan ini dapat dilihat lebih jelas dalam skema di bawah ini (Gambar 1).

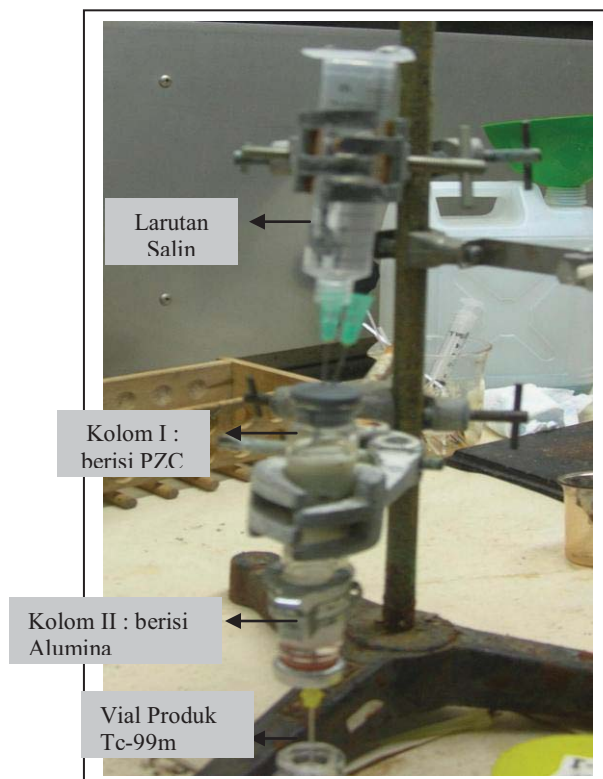


Gambar 1. Proses pembuatan generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$

Hasil dan Pembahasan

Generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ berbasis PZC ini dipreparasi menggunakan radionuklida ^{99}Mo hasil aktivasi neutron di dalam reaktor serba guna GA Siwabessy, BATAN Serpong dengan radioaktivitas cukup tinggi, yaitu 600 mCi dan 800 mCi dari bahan sasaran molibdenum alam ($^{98}\text{MoO}_3$). Generator radioisotop ini terdiri dari dua buah kolom, kolom I yang terbuat dari gelas dengan diameter dalam 1,5 cm dan panjang 5 cm yang berisi Molibdenum teriradiasi dan PZC, kolom II berisi serbuk alumina aktif yang telah dicuci dengan menggunakan salin (Lihat Gambar 1).

Dalam penelitian ini dimasukkan radionuklida ^{99}Mo dengan radioaktivitas sebesar 600 mCi dan 800 mCi dan diserap ke dalam PZC masing-masing sebesar 532 mCi dan 530 mCi (Tabel 1). Hal ini menunjukkan efisiensi penyerapan ke dalam PZC masing-masing sebesar 88,6% dan 66,2% sebagai campuran Mo-PZC berada di dalam kolom setelah dicuci menggunakan larutan NaOCl 0,5% dan salin. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi penyerapan molybdenum ke dalam PZC lebih rendah apabila dibandingkan dengan generator yang sama dengan kapasitas yang lebih rendah, yaitu > 90 %. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh PZC yang digunakan sudah tersimpan terlalu lama (dari 2003) sekitar 6 tahun, dan dapat juga disebabkan oleh tingkat radioaktivitas ^{99}Mo yang tinggi.



Gambar 1 Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ berbasis PZC

Tabel 1 Efisiensi penyerapan ^{99}Mo ke dalam PZC

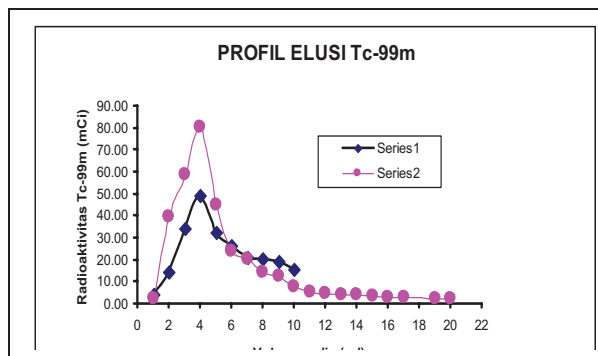
NO	^{99}Mo AWAL	^{99}Mo TERSERAP	EFISIENSI (%)
1	600 mCi	532 mCi	88,6
2	800 mCi	530 mCi	66,2

Campuran Mo-PZC di dalam kolom gelas setelah didiamkan sekitar 22 jam, hasil elusi menunjukkan tingkat radioaktivitas $^{99\text{m}}\text{Tc}$ masing-masing sebesar 243,86 mCi dan 308,83 mCi dengan pengotor radionuklida ^{99}Mo masing-masing sebesar 0,419 μCi dan 0,405 μCi dengan konsentrasi pengotor radionuklida ^{99}Mo masing-masing sebesar $1,87 \times 10^{-2} \mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$ dan $1,32 \times 10^{-2} \mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$ (Tabel 2). Hal ini menunjukkan bahwa pengotor radionuklida ^{99}Mo di dalam $^{99\text{m}}\text{Tc}$ lebih rendah bila dibandingkan dengan hasil pengotor radionuklida ^{99}Mo di dalam produk $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dari generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dengan kapasitas yang lebih rendah yaitu sekitar $5,00 \times 10^{-2} \mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Tabel 2 Kemurnian radionuklida produk $^{99\text{m}}\text{Tc}$

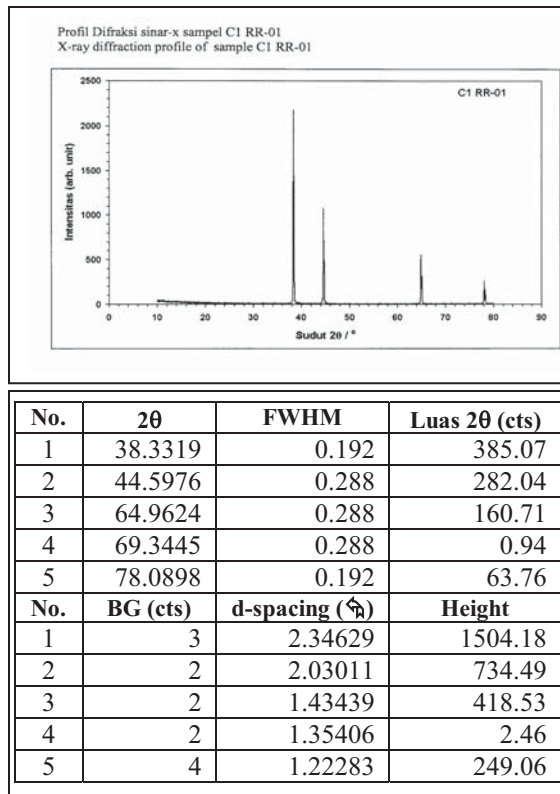
NO	Akt. $^{99\text{m}}\text{Tc}$	Yield $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (%)	Akt. ^{99}Mo	KEMURNIAN ($\mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$)
1	243,86 mCi	116,0	0,419 μCi	$1,87 \times 10^{-2}$
2	308,83 mCi	56,3	0,405 μCi	$1,32 \times 10^{-2}$

Tingkat kemurnian radionuklida $^{99\text{m}}\text{Tc}$ hasil elusi tergantung dari besar volume elusi salin. Dalam penelitian ini ditunjukkan bahwa tingkat radioaktivitas $^{99\text{m}}\text{Tc}$ tertinggi diperoleh pada volume salin 3 ml dan terendah pada 10 ml (Gambar 2). Karena itu profil elusi sangat penting diketahui apabila produk $^{99\text{m}}\text{Tc}$ diaplikasikan untuk diagnosis penyakit pada manusia. Hasil profil elusi dalam penelitian ini tidak berbeda dengan generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dengan kapasitas yang lebih rendah yang telah dilakukan.



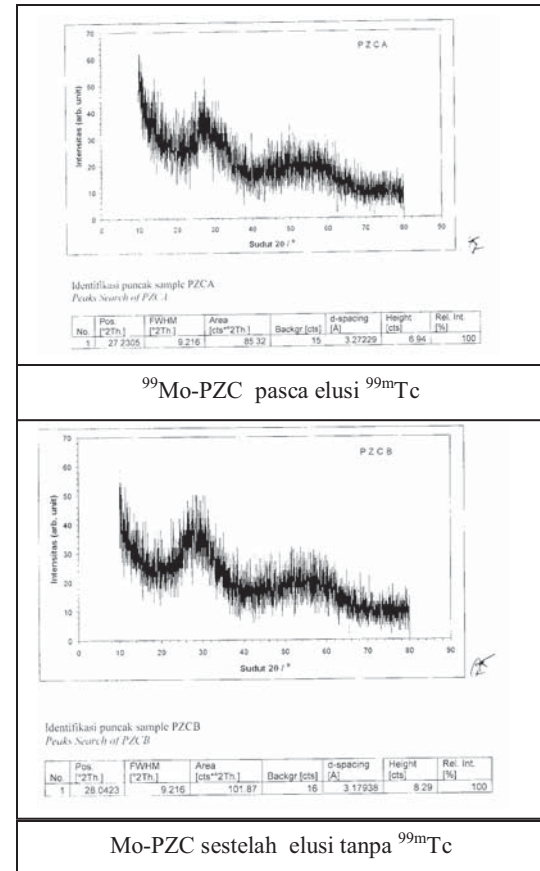
Gambar 2 Profil elusi radioisotop $^{99\text{m}}\text{Tc}$

Hasil analisis difraksi sinar-x (XRD) menunjukkan bahwa PZC sebelum di campur dengan molibdenum teriradiasi berbentuk kristal dengan 5 buah sudut 2θ masing-masing sebesar 38,33, 44,60, 64,96, 69,34 dan 78,09 (Gambar 3a). Sedangkan matriks Mo-PZC radioaktif dan tanpa zat radioaktif berupa matriks amorf dengan nilai tinggi pada tengah tengah puncak (FWHM) > 1 yaitu masing-masing 9,21 yang artinya dalam matriks-matriks tersebut di atas tidak ada puncak XRD, matriks Mo-PZC baik yang radioaktif maupun yang non radioaktif berupa amorf (Gambar 3b).



Gambar 3a Hasil analisis XRD PZC sebelum loading Mo-99

Hasil analisis SEM untuk PZC sebelum dicampur dengan molibdenum, PZC sesudah dicampur dengan molibdenum radioaktif di bawah 1000 mCi dan PZC setelah dicampur dengan molibdenum tidak aktif (Gambar 4a, 4b dan 4c), menunjukkan bahwa diameter partikel PZC sebelum direaksikan dengan molybdenum berkisar antara 0,802 s/d 0,967 μm , lebih besar dari pada diameter partikel di dalam matriks Mo-PZC setelah elusi $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dengan salin yaitu berkisar antara 0,456 s/d 0,583 μm . Sedangkan matriks Mo-PZC tanpa zat radioaktif tersusun dari partikel-partikel paling besar dibanding dengan kedua matriks di atas, yaitu berkisar antara 1,544 s/d 2,926 μm . Dari hasil analisis SEM ini menunjukkan ada perbedaan



Gambar 3b Hasil analisis XRD untuk matriks PZC setelah dicampur Mo

ukuran partikel diantara tiga matriks PZC, Mo-PZC radioaktif dan Mo-PZC tanpa zat radioaktif.

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan diperoleh bahwa efisiensi penyerapan molibdenum ke dalam matriks PZC masing-masing sebesar 88,6% dan 66,2% dan diperoleh generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dengan tingkat radioaktivitas ^{99}Mo masing-masing sebesar 532 mCi dan 530 mCi. Dan didapatkan radioaktivitas produk radioisotop $^{99\text{m}}\text{Tc}$ masing-masing sebesar 243,86 mCi dan 308,83 mCi dengan tingkat pengotor radionuklida ^{99}Mo masing-masing sebesar $1,87 \times 10^{-2}$ dan $1,32 \times 10^{-2}$ $\mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$. Matriks PZC sebelum dicampur dengan molybdenum teriradiasi berupa kristal, dan setelah dicampur dengan Molibdenum radioaktif dan setelah dielusi menggunakan larutan salin mempunyai diameter partikel lebih kecil dibandingkan dengan matriks PZC sebelum dicampur dengan molibdenum teriradiasi dan yang dicampur dengan molibdenum tidak radioaktif, serta diperoleh yield $^{99\text{m}}\text{Tc}$ masing-masing sebesar 116,0% dan 56,3%.

